



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Evaluación del uso de algas para el tratamiento de metales pesados
en aguas residuales industriales**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

Muguerza Namoc, Rebeca Mishel (ORCID [0000-0001-9814-6769](https://orcid.org/0000-0001-9814-6769))

Villalobos Angulo, Evelyn Andrea (ORCID [0000-0002-7607-2401](https://orcid.org/0000-0002-7607-2401))

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID [0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

TRUJILLO – PERÚ

2021

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada primeramente a Dios por siempre guiar mis pasos día a día. A mis padres Enrique Villalobos e Irma Angulo por su apoyo incondicional, sacrificio y esfuerzo brindado para llegar a cumplir mis metas a lo largo de mi vida y también por la confianza de creer en mi persona. A mis hermanas Lidia y Mildred por ser mi apoyo todos los días. También se la dedico a mi abuelita Rosa, así como a Ayrton por el apoyo brindado y por ser esa persona que siempre estuvo conmigo.

Atte. Evelyn Villalobos Angulo

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida y por ser mi guía en este camino.

A mis padres Carlos y Rebeca por su amor y comprensión, por haberme acompañado durante todo este trayecto de mi vida. Los Amo.

A mis hermanas Karla y Mery que con su amor y amistad han velado por mí durante este arduo camino, a Carlitos, Doménica y Valentina por ser unos seres especiales e importantes en mi vida.

A Jhon G. por brindarme siempre su apoyo y comprensión y por impulsarme a alcanzar esta meta en mi vida.

Atte. Rebeca Muguerza Namoc

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por la vida, por brindarnos sabiduría y por nunca dejarnos decaer a lo largo de este camino en el cual lograremos uno de tantos anhelos que tenemos planteados en nuestras vidas.

A nuestros padres por siempre confiar e impulsarnos a lograr nuestras metas, por formarnos como personas de bien e inculcarnos valores los cuales los aplicamos todos los días de nuestras vidas y ser nuestras fuentes de inspiración.

A nuestras hermanas por ser ejemplos a seguir y por su apoyo incondicional en el camino a cumplir nuestras metas.

Agradecemos a nuestro maestro y asesor el Dr. Alfredo Cruz Monzón por su enseñanza y paciencia, por compartir sus conocimientos con todos nosotros, ya que con su apoyo logramos cumplir con el desarrollo de este trabajo de Tesis.

A nuestra casa de estudios por brindarnos las oportunidades de poder desarrollar y explotar todo nuestro potencial, así como permitirnos conocer personas increíbles que hoy en día se convirtieron en grandes amigos.

Índice

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Categoría, subcategorías y matriz de categorización	10
3.3. Escenario de estudio	10
3.4. Participantes	10
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	11
3.6. Procedimiento	12
3.7. Rigor científico	13
3.8. Método de análisis de datos	13
3.9. Aspectos éticos	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14

4.1. Remoción de metales pesados por tipo de algas	15
4.2. Tipos de aplicación de algas para la remoción de metales pesados de aguas residuales industriales	26
4.3. Tipo de agua residual industrial con mayor efectividad de remoción de metales pesados	27
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS	34
ANEXOS	
Anexo 01: Matriz de categorización	
Anexo 02: Recopilación de datos	
Declaratoria de Autenticidad del Asesor	
Autorización de Publicación en Repositorio Institucional	

Índice de tablas

	Página
Tabla N° 01: Criterios de inclusión	11
Tabla N° 02: Ficha de registro de datos	11
Tabla N° 03: Remoción de metales pesados por tipo de algas	15
Tabla N° 06: Tipos de aplicación de algas para la remoción de metales pesados	23
Tabla N° 08: Tipo de agua residual industrial para la remoción de metales pesados	28

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Procedimiento de investigación	12
Figura 2: Artículos científicos reportados por año	14
Figura 3: Capacidad de remoción de metales pesados por macroalgas	17
Figura 4: Capacidad de remoción de metales pesados por microalgas	21
Figura 5: Tipo de aplicación de algas para la remoción de metales pesados	26
Figura 6: Tipos de agua residual con mayor efectividad de remoción	30

Resumen

La contaminación por aguas residuales de origen industrial es un problema que en la actualidad viene aquejando a la gran mayoría de ciudades del planeta debido a la falta de interés por el cuidado del medio ambiente, por lo que el uso de algas representa una alternativa para el tratamiento de metales pesados presentes en este tipo de aguas residuales. Frente a esto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia del uso de algas para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales industriales. Por lo que, esta investigación fue un análisis documental de tipo cualitativa descriptiva en el cual se empleó artículos de acceso libre de diversas bases de datos indexadas como Science Direct, Scielo, Redalyc y Scopus, donde se obtuvieron 23 artículos científicos para llevar a cabo la investigación. Los resultados mostraron que las algas *Sargassum sp*, *Laminaria hiperbórea*, *Fucus vesiculosus* y *Cladophora sp*, así como *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* y *Microcystis sp* presentan una remoción de 91,0%, 95,0%, 98,3%, 91,8%, 95,0%, 94,2% y 85,0% respectivamente. Concluyendo que el uso de algas es eficiente para la remoción de metales pesados aplicando dichas algas en forma de nanopartículas en aguas residuales de procedencia química y de minería.

Palabras clave: algas, tratamiento de aguas residuales, eficiencia, metales pesados

Abstract

Pollution by industrial wastewater is a problem that currently afflicts the vast majority of cities on the planet due to the lack of interest in caring for the environment, so the use of algae represents an alternative for the treatment of heavy metals present in this type of wastewater. Faced with this, the objective of this research was to evaluate the efficiency of the use of algae for the treatment of heavy metals in industrial wastewater. Therefore, this research was a descriptive qualitative documentary analysis in which free access articles from various indexed databases such as Science Direct, Scielo, Redalyc and Scopus were used, where 23 scientific articles were obtained to carry out the investigation. The results showed that the algae *Sargassum* sp, *Laminaria hiperborea*, *Fucus vesiculosus* and *Cladophora* sp, as well as *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* and *Microcystis* sp present a removal of 91.0%, 95.0%, 98.3%, 91.8 %, 95.0%, 94.2% and 85.0% respectively. Concluding that the use of algae is efficient for the removal of heavy metals by applying said algae in the form of nanoparticles in wastewater of chemical and mining origin.

Keywords: algae, wastewater treatment, efficiency, heavy metals

I. INTRODUCCIÓN

El uso de algas se puede constituir como una alternativa en el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan reducir los impactos provocados por aguas residuales industriales debido a la amplia variedad de especies, abundancia y disponibilidad, las cuales constituyen un paso fundamental para la remoción de metales pesados y que en la actualidad se viene incentivando el interés científico para una mayor aplicación de esta potencialidad.

La contaminación por aguas residuales provenientes de industrias viene aquejando a la gran mayoría de ciudades del planeta, debido a la falta de interés por el cuidado del medio ambiente, estas se originan en el ámbito industrial principalmente por el incremento del sector, que causan alteración en la calidad del agua ya que la gran parte de ellas están contaminadas por metales pesados, las cuales traen consigo consecuencias negativas, no solo para el entorno sino también para la población. (Larios, 2015, p. 10).

Los efectos que pueden generar por su elevada toxicidad resultan ser alarmantes, la presencia de metales pesados en el ambiente puede darse por vía natural y antropogénica. Una vez que entran a un medio acuático, alteran los procesos biogeoquímicos y a su vez se distribuyen entre las especies con distintas características generando alteraciones en su composición. (Reyes et al, 2016, p. 2).

Este problema se ha hecho más evidente en los últimos años debido al aumento considerable de la contaminación del agua en todas las formas y una de ellas es la contaminación por metales pesados, este último es proveniente de actividades mineras, industrias del cuero, textilería, entre otros y que sin un tratamiento adecuado a sus efluentes puede generar daños irreparables al entorno natural.

Existen investigaciones donde muestran las concentraciones de metales pesados presentes en cuerpos de agua. Una de ellas se realizó en el río Coata, Perú, donde se detalla los niveles presentes de metales como: cromo, cadmio y plomo. La determinación se dio en dos épocas del año y el rango de concentraciones mínimas fueron: 4.10 mg/kg de Cr, 0.10 mg/kg de Cd, y 3.75 mg/kg de Pb; así como, 28.42 mg/kg Cr, 0.70 mg/kg Cd, y 16.50 mg/kg Pb como

valores máximos superando los Estándares de Calidad Ambiental del recurso agua. (Quispe, et al, 2019, p. 4).

Otro problema que generan los metales pesados en su tendencia a bioacumularse, es decir, la cantidad total se acumula a través del tiempo en organismos bióticos (seres vivos) así como abióticos (agua, suelo, aire), también pueden biomagnificarse, es decir, el aumento de la densidad del metal con el incremento en los niveles tróficos. (Jorgensen, 2016, p. 26).

Existen diferentes tratamientos para contrarrestar la contaminación del agua que provienen del sector industrial, dentro de las principales tecnologías se tiene el tratamiento biológico utilizando algas, por otro lado, la floculación o precipitación, métodos electroquímicos, ósmosis, intercambio iónico y campos magnéticos o eléctricos. (Cayetano, 2019, p. 5).

Ante esto, las tecnologías con uso de algas es una opción que se está desarrollando para contrarrestar los efectos negativos que tienen los metales pesados en el ambiente, no solo por ser económico sino por su transformación rápida para tratar los niveles de concentración de manera eficaz. (Plaza, 2012, p. 10).

El uso de las algas incluye la utilización de microalgas y macroalgas, las cuales también pueden ser de agua dulce y marina. Las microalgas, pueden crecer y vivir en ambientes extremos debido a su estructura celular, las cuales están siendo de gran utilidad por su habilidad de remoción en aguas residuales y su cultivo puede realizarse en sistemas abiertos y cerrados. (Cépeda, 2018, p. 1). Por otro lado, las macroalgas marinas también poseen excelentes capacidades de biosorción de metales debido a la presencia de grupos funcionales activos en la superficie de su pared celular. (Ibrahim, 2016, p. 241).

Ante la problemática observada, se planteó como problema principal ¿Qué niveles de eficiencia presenta la utilización de algas en el tratamiento de metales pesados presentes en aguas residuales industriales que han sido reportados en las bases de datos indexadas de acceso libre?, y como hipótesis se planteó que existe evidencia de altos niveles de eficiencia de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales mediante el uso de algas.

La investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia del uso de algas para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales industriales. En ese sentido se planteó como objetivos específicos, evaluar las principales especies de algas reportadas con elevada capacidad de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales, evaluar la aplicación de algas que generan mayor eficiencia de remoción de metales pesados y analizar el tipo de agua residual en el que las algas presentan mayor grado de efectividad en la remoción de metales pesados.

En tal sentido, se pretendió que dicho análisis sirva para dar a conocer nuevas formas de preservar las riquezas naturales, a través de la utilización de algas que están presentes en la vida cotidiana y que no tienen un gran costo a comparación de otras tecnologías existentes. Con esto se busca beneficiar a la población y también al medio ambiente, ya que estos vienen siendo afectados por la contaminación de metales pesados proveniente de industrias.

Asimismo, realizando una revisión sistemática se logró profundizar los diversos conocimientos teóricos de diferentes fuentes para ofrecer una mirada integral sobre las ventajas de usar algas en la remediación de los cuerpos de agua y a la vez mostrar los daños que ocasionan los metales pesados cuando no hay un previo tratamiento para su disposición final.

II. MARCO TEÓRICO

Para el crecimiento de esta investigación se consideró trabajos previos por lo que se presentan los siguientes antecedentes:

Primero, Pérez et al. (2016) en su estudio “Uso de *Scenedesmus* para la remoción de metales pesados y nutrientes de aguas residuales de la industria textil” tuvo como objetivo evaluar el uso de la microalga *Scenedesmus* para tratar aguas residuales industriales que contienen la presencia de metales pesados. Durante su investigación se utilizaron tres diluciones de 100, 50 y 20% que sirvieron para evaluar su efecto sobre el crecimiento de *Scenedesmus* durante 15 días. Como resultado obtuvieron un mayor desarrollo de la microalga en el agua sin diluir, alcanzando una reducción de aluminio de 88.8%, cromo en 85,21%, así como nitratos y nitritos; por lo que se concluyó que dicha microalga cumple un papel fundamental en la fitorremediación de aguas residuales dentro de la industria textil.

En tercer lugar, Chulle y Villalobos (2016) mencionan en su estudio “Remoción de metales pesados (mercurio y plomo) de soluciones acuosas sintéticas en diferentes concentraciones utilizando la microalga dulceacuícola *Scenedesmus acutus*” en donde se tuvo como objetivo establecer los niveles de remoción de Hg y Pb, en el cual se cultivó la microalga en un medio Bold’s Basal modificado. Dichos cultivos tuvieron concentraciones de 5,10, 15, 20 y 30 mg/L de mercurio y plomo, para realizar los ensayos ajustándose a un modelo experimental con estímulo creciente. Como resultado obtuvieron que la concentración de 10 mg/L de Pb estimuló un crecimiento celular mientras que las demás concentraciones ocasionaron una reducción; para el mercurio, el cultivo algal se vio afectado en todas las concentraciones. Por otro lado, los porcentajes de remoción para plomo fueron de 97,68% y 93% para mercurio.

Por otro lado, Pérez (2017) Referente a su análisis “Efecto biorremediador de las clorofitas filamentosas en el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados provenientes del río Chillón - Callao”, evaluó la aplicación de algas filamentosas en aguas contaminadas con la presencia de metales pesados provenientes del río Chillón, la especie que se usó fue *Rhizoclonium sp*, la misma que estuvo en evaluación durante un período de 56 días. Esta alga fue aplicada

en los efluentes en donde se evaluó la remoción de plomo por un tiempo de 7 días y que a la vez se midió las variaciones de pH, temperatura, nitrógeno total, fósforo total, ratio y biomasa. Dicha alga dio como resultado alto porcentaje de remoción de plomo, así como la disminución de nitrógeno, fósforo total, en cuanto a la biomasa presento un notable crecimiento. Asimismo, la temperatura presento una alta correlación con la remoción del metal y el nivel de pH tiene influencia en el tratamiento, por lo que se concluyó que mencionada alga es efectiva para el tratamiento de efluentes contaminados.

Luego, Azam (2019) En su trabajo “Bio-eliminación de Zn del agua contaminada mediante el uso de aislados de algas verdes” Evaluó la capacidad de las especies de algas nativas en la eliminación de Zn de las aguas residuales industriales. Este experimento consta de factores, siendo el tiempo el principal y tres factores secundarios (solución básica, aislados de algas y concentración de zinc), luego se preparó una suspensión de algas las cuales fueron trasladadas a matraces en la cual se incluyó el agua residual y la solución básica, luego se evaluó la demanda de oxígeno, pH y concentraciones de zinc en intervalos de tiempo de 3 a 20 días. En base a los resultados obtenidos, la mayor absorción de Zn se registró en el medio con la solución en blanco y en aguas residuales, por lo que se concluyó que ambos aislados fueron capaces de remover la contaminación en un 90%.

Mientras tanto, Apaza y Huahuala (2019), presentó en su trabajo “Bioadsorción del metal cadmio (II) de aguas residuales industriales, utilizando algas marinas marrones”, se evaluó las propiedades de la macroalga *Lessonia nigressens*, la cual fue tratada y activada con cloruro de hidrógeno y cloruro de calcio y a la vez su biomasa fue secada a temperatura del ambiente, molida y tamizada. Para establecer las variables óptimas, se prepararon soluciones acuosas de cadmio (II) usando nitrato de cadmio tetrahidratado, también se tomaron 3 disoluciones de 100 ml (50, 75 y 100 ppm Cd) y se reguló el pH a índices entre 2,4 y 6, para lo cual se utilizó ácido sulfúrico o hidróxido de sodio y que a la vez se añadió 0.4 g/L de absorbente agitándose en tiempos de 12, 18 y 24 horas. Los resultados que se obtuvo fue que la variable adecuada para la adsorción de cadmio (II) es un pH de 6 durante 24 horas con una concentración de 100 a 50 mg/L. Además,

cabe mencionar que la presencia de otros metales presentes en el efluente también fue adsorbida por el alga de estudio dependiendo de su concentración.

De igual modo, Puris (2019) Por lo que corresponde a su estudio “Aplicación de la microalga *Chlorella vulgaris* como alternativa para la bioadsorción de metales pesados Pb, Hg, Cd en aguas” Tuvo como objetivo revisar el uso de microalgas *Chlorella vulgaris* para la adsorción de metales, específicamente: mercurio, cadmio y plomo de aguas residuales industriales. Asimismo, tuvo la finalidad de emplear estas microalgas para mitigar el impacto que tienen en el medio ambiente dado que es una medida amigable con el ecosistema y de bajo costo frente a otros tratamientos. Finalmente, tras una serie de investigaciones y basándose en la literatura se afirmó que la efectividad de adsorción es indirectamente proporcional a la concentración del metal, así como el factor de mayor influencia es el potencial de hidrógeno.

Luego, Gómez (2020) Referente a su investigación “Uso de *Spirulina platensis* en la bioadsorción de metales pesados presentes en aguas residuales industriales” Tuvo como objetivo elaborar el artículo que asume como principal estudio el uso de la *Spirulina platensis* en el cual se hizo investigaciones para poder usar el método de tratamiento biológico de las aguas provenientes de las industrias, la cual servirá como un método eficaz para que elimine los metales pesados como: plomo, cadmio, cromo, cobre, níquel y zinc debido a que la *Spirulina platensis* tiene como característica principal poseer una estructura capaz de bioadsorber metales pesados, por ende se revisó los mejores ambientes para que el crecimiento de la *Spirulina platensis* sea el más óptimo y así encontrar la eficiencia de remoción de metales pesados por bioadsorción de dicha microalga.

Para finalizar, Magno (2020) muestra en su estudio “Eficiencia en la remoción de Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera mediante la aplicación de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis Pyrifera*) químicamente modificado” Evaluó la eficiencia de remoción de Pb (II) y Zn (II) de aguas residuales industriales provenientes de la explotación minera mediante el uso de un biomaterial a partir de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis pyrifera*). Para llevar a cabo su realización se utilizó

un diseño cuasi experimental, en el cual se aplicó la prueba de espectrofotometría para determinar el impacto en la concentración de plomo (II) y Zinc (II) en dos puntos de referencia. Los resultados mostraron que se logró remover una cantidad similar de plomo y zinc en el efluente 01, mientras que en el efluente 02 se removi6 una mayor cantidad de los metales; por lo que se lleg6 a la conclusi6n de que la aplicaci6n de Alginato de Algas Pardas es parcialmente eficiente para remover estos metales, significando que su eficiencia del biomaterial depender6 de la concentraci6n inicial de plomo (II) y zinc (II).

Otros conceptos a estudiar son:

Los metales pesados son aquellos que tienen una concentraci6n elevada mayor a la del agua, presentan masa y peso at6mico por encima de 20 y son t6xicos. Se considera que son perjudiciales, pero resultan ser esenciales en nuestra alimentaci6n, recalcando que su deficiencia o exceso puede producir graves problemas de salud. (Londo6o, et al, 2016, p. 147).

Plomo (Pb): Es un elemento da6ino presente en la superficie terrestre. Su aplicaci6n ha causado en muchos lugares contaminaci6n al ambiente, as6 como a las personas y problemas sanitarios. Las fuentes principales de contaminaci6n ambiental est6n presentes la miner6a, metalurgia, actividades de fabricaci6n y en algunos pa6ses en las pinturas e inclusive en cosm6ticos. Seg6n estudios realizados el de consumo de plomo corresponde a la elaboraci6n de bater6as para veh6culos de motor. Este metal tambi6n es aplicado para la producci6n de materiales de soldadura, fuentes de cristal, pinturas, joyas y jugueter6a, tambi6n puede abarcar el agua potable mediante las tuber6as. (Organizaci6n Mundial de la Salud. 2019, p. 1).

Cromo (Cr): Es un elemento qu6mico que se utiliza para aleaciones anticorrosivas de gran consistencia y firme al calor, as6 como para el recubrimiento para galvanizados. Sus formas qu6micas m6s comunes son: Cr (0), Cr (III) y Cr (VI), siendo este 6ltimo la forma m6s t6xica. Las principales actividades econ6micas de cromo (III) son el acero, pinturas textiles, pintura el6ctrica y otros usos industriales. (Covarrubias y Pe6a. 2017, p. 10)

Cadmio (Cd): Este elemento es relativamente raro en el ambiente y presenta una coloraci6n blanca ligeramente azulada y naturalmente no se encuentra en estado

libre. El cadmio se utiliza en pinturas, plásticos, pilas, baterías, entre otros y la población está expuesta a este elemento a través del agua, alimentos, también por medio de la inhalación de partículas de industrias y por vía dérmica, aunque en cantidades mínimas. (Londoño et al, 2016, p. 148).

Cobre (Cu): Se halla en muchos alimentos, agua de consumo humano y en el aire debido a su absorción como un elemento esencial para la salud de los seres vivos, aunque en concentraciones elevadas puede causar problemas en la salud. Puede ser encontrado en el ambiente de forma natural y a causa de las actividades humanas, en el caso de la actividad humana está presente la minería, producción para la obtención de metales, madera y fertilizantes. (Rodríguez et al, 2020, p. 2).

Aguas residuales: Tienen propiedades que han sido alteradas por actividades humanas y por ende necesita un procedimiento previo para ser reutilizadas a un cuerpo natural de agua. Estas se clasifican en domésticas, municipales e industriales. Según su base legal expuesta por el Ministerio del Ambiente dice: “El gobierno declara en fundamento a la capacidad de los cuerpos destinados un permiso anticipado para el vertido de aguas residuales que se desarrollan por las actividades económicas siempre que este no ocasione daños en la calidad del recurso hídrico como receptor, así como tampoco afecte su reutilización conforme a lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental del estado peruano”. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. 2014, p. 42).

Algas: Son organismos protistas y se dividen en unicelulares y pluricelulares, se consideran como el primer peldaño de la cadena trófica en el ambiente marino, se encuentran en agua dulce y salada. Se clasifican en:

- Algas verdes - azules: Son conocidas como cianobacterias por su carencia de membrana nuclear, su color varía desde verde azulado hasta rojo.
- Algas verdes: Poseen clorofila del tipo a y b y sus formas pueden ser unicelulares y pluricelulares.
- Algas pardas: Se hallan en el medio marino, carecen de clorofila b, pero cuentan con el tipo c y pigmentos fotosintéticos.

- Algas rojas: Son organismos eucariotas, están confinadas en el medio marino, no cuentan de clorofila b y poseen pigmentos rojos y azules. (González, 1992, p. 4)

El uso de algas en tratamientos sobre aguas residuales industriales tiene lugar de forma natural en diferentes cuerpos de agua. Al igual que otras técnicas para tratamiento biológico, se puede emplear métodos de cultivo suspendido o de cultivo fijo, este es aplicable a varios tipos de agua residual incluyendo urbanas, aguas producto de extracción de gas y petróleo, lácteos, etc. (Bastián, 2016, p.2).

III. METODOLOGÍA

a. Tipo y diseño de investigación

La investigación realizada fue de tipo básica con metodologías cualitativas, porque tuvo por finalidad explicar datos obtenidos de diversas bases de datos indexadas para poder determinar el desarrollo del estudio y a la vez investigar los datos para lograr cumplir con el objetivo planteado.

El diseño de investigación fue no experimental, longitudinal de tendencia, ya que se pretendió brindar información acerca de estudios anteriormente realizados a través de la recopilación de datos tanto de nivel nacional como internacional, con el fin de evaluar artículos relacionados con el estudio, así como resultados que hicieron más verídica la investigación.

b. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

La información categórica y sub categórica fue elaborada previo al recojo de datos los cuales surgieron a partir de la indagación con la finalidad de expresar y describirla de manera conceptual. (Ver Anexo 01).

c. Escenario de estudio

El escenario es el lugar en el cual se realizó el estudio de investigación, las características y los recursos, los cuales estuvieron expuestos desde la elaboración del proyecto. (Valerdi, 2009, p. 1).

Por tanto, en esta investigación el escenario de estudio lo conformaron por las bases de datos indexadas, como: Science direct, Scielo, Redalyc y Scopus que refieren al tema de investigación.

d. Participantes

En este trabajo de investigación se tuvo como participantes a los artículos de bases de datos indexados de revistas científicas que fueron seleccionados utilizando criterios de inclusión, los cuales fueron:

Tabla N° 01: Criterios de inclusión

Ítem	Criterio de inclusión
Tipo de artículo	Artículo científico
Tipo de acceso	Acceso Libre
Fecha de publicación	Del 2015 al 2021
Tipo de algas	Macroalgas y microalgas
Tipo de agua residual	Industriales
Idioma	Español – inglés

Fuente: Elaboración propia

e. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación se empleó un análisis documental, el cual permitió identificar y localizar cualquier documento, así como el contenido, recuperación de documentos y recolección de datos de interés. Y como instrumento de recolección se empleó una ficha de registro de datos que incluyeron los recursos de búsqueda, así como las palabras clave.

Tabla N° 02: Ficha de registro de datos

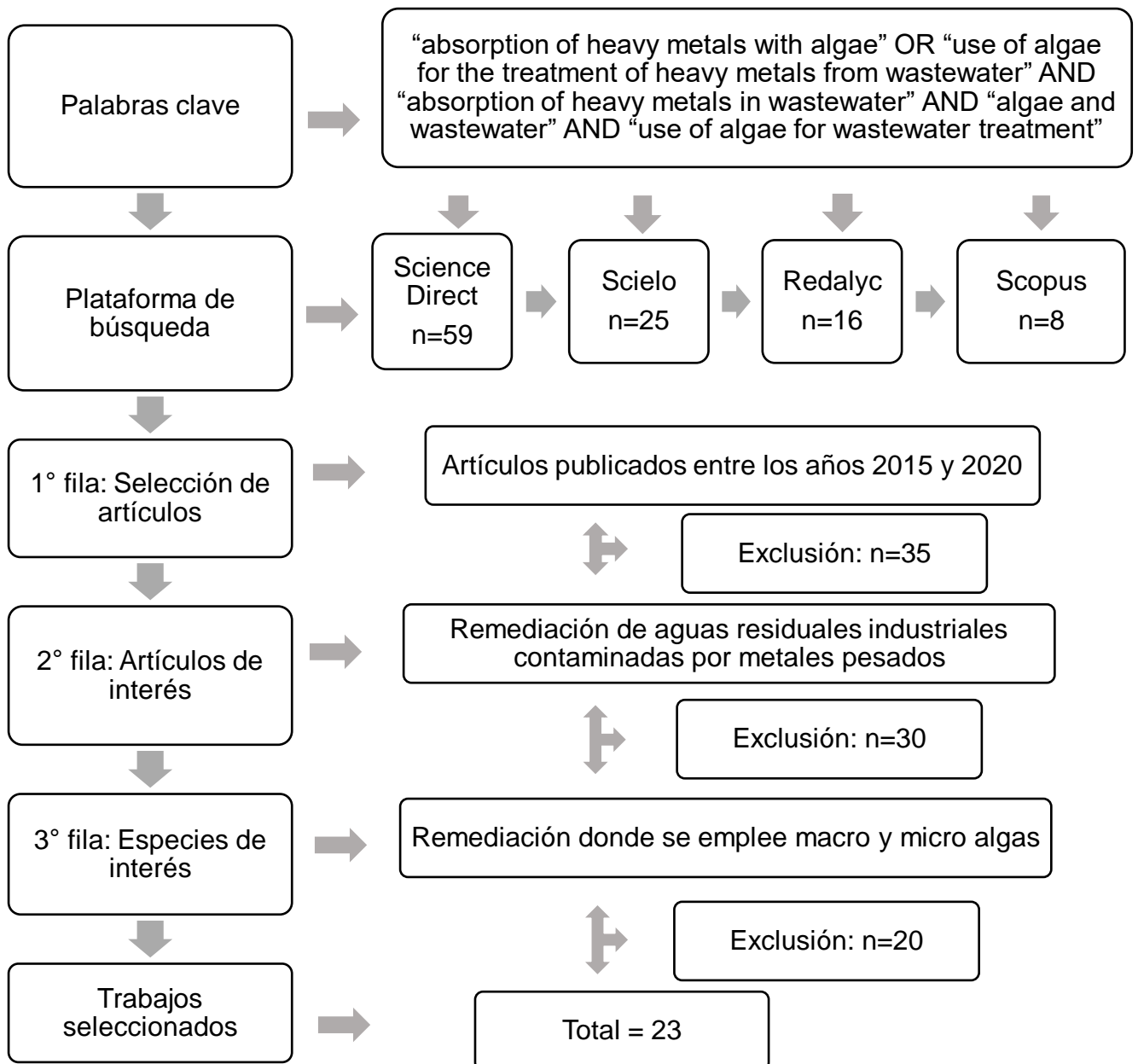
Ficha de registro de datos	
Recursos de búsqueda	Palabras clave
Science Direct	“absorption of heavy metals with algae” or “use of algae for the treatment of heavy metals from wastewater”
Scielo	“used of algae” or “tratamiento de metales pesados”
Redalyc	“remoción de metales pesados”
Scopus	“used of algae for wastewater treatment”

Fuente: Elaboración propia

f. Procedimiento

El procedimiento para la realización de esta investigación, se llevará a cabo de la siguiente manera:

Figura 1: Procedimiento de investigación



Fuente: Elaboración propia

g. Rigor científico

En la investigación se utilizó artículos de bases de datos indexadas, los cuales fueron evaluados por especialistas con una amplia experiencia en la rama de investigación antes de su publicación garantizando que los artículos obtenidos cumplen con los criterios de credibilidad, veracidad, autenticidad, conformabilidad y coherencia; el cual garantizó que el uso de su información genere conclusiones claras dentro de los criterios.

Por ello, toda la información obtenida fue tabulada de manera correcta usando el rigor científico requerido.

h. Método de análisis de datos

Los datos fueron tabulados utilizando una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2019 versión 19.0. El cual permitió clasificar y seleccionar la información de cada artículo para que se logre cumplir con los objetivos de estudio. Para esto, se clasificó en columnas las cuales mostraron la siguiente información: autor, tipo de algas, metales en tratamiento, cuerpo de agua, método, tipo de aplicación, porcentaje de remoción, tiempo, tipo de agua residual, especie, así como el año de publicación.

i. Aspectos éticos

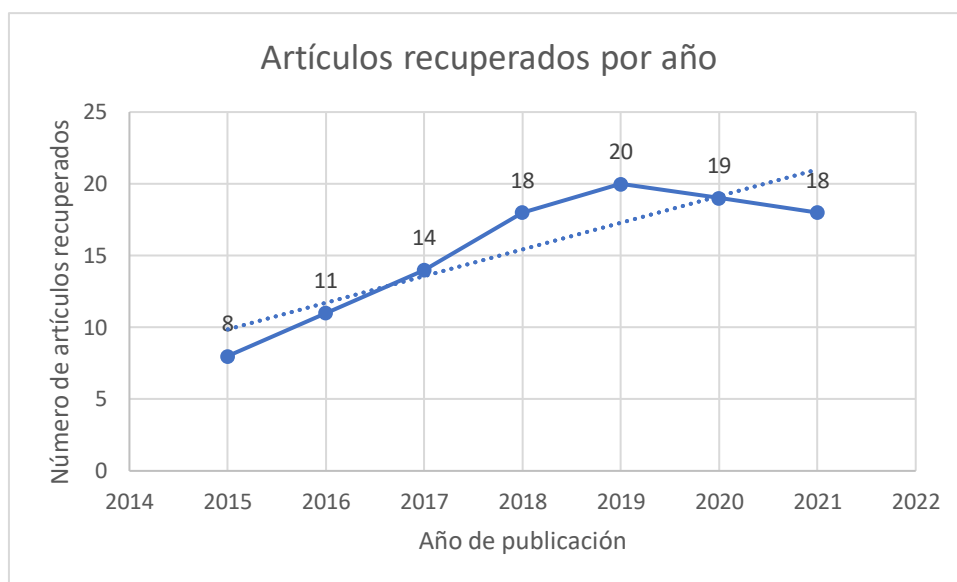
En la investigación se consideró la autoría de las investigaciones, en las cuales los resultados fueron usados de forma objetiva y se presentó sin manipulación de la información.

Asimismo, se garantizó la validez y la objetividad en la tabulación de datos puesto que, esta información puede ser utilizada para el desarrollo de futuras investigaciones sobre el uso de algas para remedir aguas residuales industriales.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la búsqueda de artículos científicos en las diferentes bases de datos indexadas se logró identificar 108 investigaciones que corresponden a los años 2015 al 2021.

Figura 2: Artículos científicos reportados por año



Fuente: Elaboración propia

La figura 2 representa el interés de los investigadores en llevar a cabo investigaciones relacionados a la temática del uso de algas para remediar metales pesados presentes en aguas residuales industriales, los cuales fueron recuperados desde los años 2015 al 2021 de bases de datos indexadas como Science Direct, Scielo, Redalyc y Scopus.

4.1. Remoción de metales pesados por tipo de algas

Para llevar a cabo la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales, en los diferentes artículos científicos recopilados se empleó el uso de algas, de tipo microalgas y macroalgas cada uno identificada con su tipo de especie que se empleó para la realización de la investigación.

Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla N° 03: Remoción de metales pesados por tipo de algas

N°	Autor (es)	Tipo de agua residual	Tipo de alga	Género de algas	Especie(s)	Metales pesados							Remoción (%)
						Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
1	Barquilha, C.E.R, et.al.	Galvanoplastia	Macroalga	Pardas	Sargassum sp.			x					96,0
										x			72,0
2	Jaafari, Jalil y Yaghmaeian, Kamyar	Metalurgia	Microalga	Eucariotas	Chlorella coloniales		x						98,0
						x							97,0
3	Pradhan, Debabrata, et.al.	Minería	Microalga	Eucariotas	Scenedesmus sp		x						93,1
4	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri	Química	Microalga	Eucariotas	Spirulina platensis	x							92,8
											x		94,1
							x						80,8
	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri	Química	Microalga	Eucariotas	Chlorella vulgaris	x							87,5
											x		90,1
							x						80,8
5	Li Yinta, et.al.	Textil	Microalga	Eucariotas	Chlorella vulgaris						x		63,6
6	Husien,Sh, et.al	Curtiembre	Macroalga	Pardas	Sargassum dentifolium		x						99,7
7	Nemchi, Fadela, et.al.	Textil	Macroalga	Verdes	Ulva Lactuca					x			89,0
				Pardas	Cystoseira stricta					x			63,8
8	Bi-Son, Eun, et.al.	Química	Macroalga	Pardas	Sargassum fusiforme	x							23,2
								x					55,9
												x	22,2
9	Khajavian,M; Hallajani, A y Ghelichi,P.	Química	Macroalga	Pardas	Cystoseira stricta					x			70,0
10	Esmaeili A. y Aghababi Beni A.	Química	Macroalga	Pardas	Sargassum glaucescens					x			93,0

11	Esmaeili A. Saremnia, B. y Kalantari, M.	Química	Macroalga	Pardas	Sargassum glaucescens				x				95,1
				Rojas	Gracilaria corticata				x				90,0
12	Abioye, Olabisi, et.al.	Minería	Macroalga	Verdes	Cladophora	x							88,8
											x		94,9
13	Vela, Nicolas, Guamán, María y Gonzalez, Nory	Minería	Microalga	Eucariotas	Pleurococcus sp				x				86,8
				Eucariotas	Chlorella vulgaris				x				81,0
				Eucariotas	Scenedesmus sp				x				64,0
14	Almomani, Tarifas y Bhosale, Rahul	Galvanoplastia	Microalga	Eucariotas	Spirulina platensis					x			95,0
								x					62,0
				Eucariotas	Chlorella vulgaris					x			87,0
								x					80,0
15	Chandrashekharaiyah P.S et.al	Galvanoplastia	Microalga	Eucariotas	Scenedesmus acutus	x							70,1
				Eucariotas	Chlorella pyrenoidosa	x							66,0
16	Min Poo, et.al	Química	Macroalga	Pardas	Saccharina japónica			x					70,8
						x							69,3
												x	63,5
	Min Poo, et.al	Química	Macroalga	Pardas	Sargassum fusiforme			x					97,0
						x							88,0
												x	90,0
17	Liu, Panyang, et.al.	Química	Microalga	Eucariotas	Microcystis sp	x							90,0
18	Wang, He, et.al.	Galvanoplastia	Microalga	Eucariotas	Microcystis sp					x			98,9
19	Cardoso,Saulo, et.al	Galvanoplastia	Macroalga	Pardas	Sargassum filipendula	x							78,0
							x						72,8
								x					69,0

											x		42,5
												x	43,5
20	Pozdniakova, Tatiana, et.al.	Galvanoplastia	Macroalga	Pardas	Laminaria hiperbórea							x	95,0
				Pardas	Fucus spiralis							x	55,0
	Pozdniakova, Tatiana, et.al.	Galvanoplastia	Macroalga	Pardas	Pelvetia caniculata							x	75,0
				Pardas	Ascophyllum nodosum							x	70,0
21	Demey, H, Vincent, T y Guibal, E.	Minería	Macroalga	Pardas	Fucus vesiculosus			x					99,4
											x		97,3
										x			64,9
												x	49,2
						x							41,9
22	Murat, T; Isil Arslan Topal, E y Erdal Öbek	Metalurgia	Macroalga	Verdes	Cladophora fracta							x	45,0
23	Danjuma, I, et.al.	Textil	Microalga	Eucariotas	Oscillatoria limosa						x		90,0
				Eucariotas	Chlorella vulgaris						x		70,0
				Eucariotas	Nostoc commune						x		85,0

Fuente: Elaboración propia

Bar chart showing the percentage of removal of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) by various macroalgal species. The Y-axis represents the percentage of removal (0-100%). The X-axis lists the species. The legend indicates the color for each metal: Cd (dark blue), Cr (orange), Cu (grey), Hg (yellow), Ni (light blue), Pb (green), and Zn (dark blue).

Especies de macroalgas	Cd (%)	Cr (%)	Cu (%)	Hg (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
Fucus spiralis	92						
Pelvetia caniculata	38						
Ascophyllum nodosum	105						
Laminaria hiperborea	45						
Fucus vesiculosus	105						
Sargassum dentifolium	105						
Sargassum sp	105						
Sargassum fusiforme	60						
Sargassum glaucescens	95						
Sargassum filipendula	82						
Cystoseira stricta	105						
Saccharina japonica	72						
Ulva lactuca	72						
Cladophora sp	95						
Gracilaria corticata	105						
Cladophora fracta	105						
Cd							82
Hg							82
Zn							82

Fuente: *Elaboración propia*

18

de metales pesados como cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc; como resultado obtuvieron una eficiencia de la macroalga de 41,9%, 99,4%, 64,9%, 97,3% y 49,2% respectivamente.

En el artículo de Pozdniakova, Tatiana, et.al. (2016) se empleó el uso de cuatro macroalgas pardas, las cuales fueron: *Fucus spiralis*, *Pelvetia caniculata*, *Ascophyllum nodosum* y *Laminaria hiperbórea* en la evaluación de zinc, su aplicación fue mediante nanopartículas empleando la técnica de absorción. El análisis se llevó a cabo en un tiempo de 30 minutos en la que se determinó la eficiencia de remoción de dichas macroalgas para tratar metales pesados en aguas residuales procedentes de galvanoplastia; la eficiencia de remoción que se logró en la investigación fue de 55,0% (*Fucus Spiralis*), 75% (*Pelvetia caniculata*), 70,0% (*Ascophyllum nodosum*) y 95,0% (*Laminaria hiperbórea*) respectivamente. Asimismo, Cardoso, Saulo, et.al. (2017), empleó la técnica de biosorción para remover cadmio, cromo, cobre, plomo y zinc provenientes de aguas residuales de galvanoplastias usando la macroalga parda *Sargassum filipéndula*, la que se aplicó en forma de nanopartículas en un tiempo de 24 horas, obteniendo la eficiencia de la macroalga en porcentajes de 78.03% (Cd), 72,8% (Cr), 69,1% (Cu), 42,8% (Pb) y 43,5% (Zn). También Barquilha, C.E.R. (2017) utilizó la macroalga parda *Sargassum sp* para evaluar la remoción de cobre y níquel de aguas residuales de galvanoplastia, para ello, dicha macroalga se aplicó en forma de perlas mediante biosorción en períodos de tiempo de 4 y 6 horas respectivamente. La eficiencia del alga se determinó en porcentajes de 96% para cobre y 72% para el metal níquel.

Después, Bi-Son, Eun, et.al. (2017) empleó la macroalga parda *Sargassum fusiforme* para remediar aguas residuales de origen químico con presencia de metales pesados como: cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn); la eficiencia del alga se demostró a través de porcentajes de 23,7% (Cd), 55,9% (Cu) y 22,2% (Zn), la macroalga se usó en forma de biocarbón y el tratamiento se desarrolló en un tiempo de 24 horas a través de la técnica de adsorción. A la vez, Min Poo, Kyung, et.al. (2017) empleó el uso de dos especies de macroalgas *Saccharina japónica* y *Sargassum fusiforme* para la remoción de Cd, Cu y Zn; el tiempo que los autores llevaron a cabo el proceso de remoción fue 24 horas, mediante adsorción y aplicando dichas especies en forma de biocarbón. La especie *Saccharina*

japónica tuvo una eficiencia de 69,3% para cadmio, 70,8% para cobre y 63,5% para zinc; mientras que la especie *Sargassum fusiforme* tuvo 88,0% para Cd, 97,0% para Cu y 90,0% para zinc de porcentajes de eficiencia.

Para Khajavian,M; Hallajani, A y Ghelichi,P. (2020), la eficiencia de remoción de la macroalga parda *Cystoseira stricta* en la remoción de níquel de aguas residuales químicas tuvo un porcentaje de 70,0% empleando dicha especie de modo in vitro en un tiempo de 1 hora y 20 minutos utilizando la biosorción como técnica de remoción. Por otro lado, Esmaeili A. y Aghababi Beni A. (2015) evaluaron la eficiencia de remoción de níquel empleando la especie de macroalga *Sargassum glaucescens* en un tiempo de 1 hora y 20 minutos obteniendo una eficiencia de 93,0% y al igual que los autores anteriormente mencionados usaron la biosorción, usando el alga en nanopartículas. Así también, Esmaeili A. Saremnia, B. y Kalantari, M. (2015) usó dos tipos de especies, *Sargassum glaucescens*, una macroalga parda y *Gracilaria corticata* una macroalga roja; en su investigación determinaron la eficiencia de remoción de mercurio (Hg) logrando valores de 95,1% para el alga *Sargassum glaucescens* y 90,0% con el alga *Gracilaria corticata*; ambas algas se aplicaron en nanopartículas con la técnica de adsorción en un tiempo de 1 hora y 30 minutos.

Por otra parte, Nemchi, Fadela, et.al. (2017) realizaron el tratamiento de remoción de níquel de aguas residuales de origen textil usando las especies de macroalgas verde y parda, como *Ulva Lactuca* y *Cystoseira stricta* en la que la eficiencia de dichas algas fue de 89,0% y 63,8% aplicando las especies como biocarbón y dicho proceso se realizó mediante adsorción; los tiempos de tratamiento variaron, siendo para el alga verde un período de 1 hora y el alga parda se empleó 2 horas para la remoción de Ni.

Para la remoción de cromo, Husien,Sh, et.al. (2019) empleó el alga *Sargassum dentifolium* para tratar aguas residuales de curtiembre en un tiempo de 1 hora, para ello, la especie se usó como nanopartículas, teniendo como resultado una eficiencia de 99,7%. Finalmente, Murat, T; Isil Arslan Topal, E y Erdal Öbek, (2020) utilizó la macroalga verde *Cladophora fracta* para remediar aguas residuales de procedencia metalúrgica mediante absorción y usando la especie

Asimismo, también se presenta la capacidad de remoción de metales pesados por acción de microalgas:



Para comenzar, en la figura 4, Jalil Jaafari y Kamyar Yaghmaeian (2018) utilizó la microalga *Chlorella coloniales* para la remoción de cadmio y cromo presentes en aguas residuales metalúrgicas empleando dicha especie in vitro y llevando el tratamiento a cabo mediante la biosorción; la eficiencia obtenida para cadmio fue 97,0% en un tiempo de 11 horas, mientras que para el cromo se empleó 108 horas teniendo una eficiencia de 98,0%.

Por otra parte, Pradhan, Debabrata, et.al. (2018) se usó la especie de microalga *Scenedesmus sp* para la remoción de cromo mediante nanopartículas en biosorción en un tiempo de 2 horas, teniendo un porcentaje de 93,1 como eficiencia de remoción para Cr. Asimismo, Vela, Nicolas, Guamán, María y Gonzalez, Nory (2019) empleó tres especies de microalgas, las cuales fueron: *Pleurococcus sp*, *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus sp* con la finalidad de

remediar aguas residuales de minería contaminadas con mercurio (Hg) en un tiempo de 288 horas aplicando las microalgas de forma in vitro; para lo cual los niveles de eficiencia fueron 86,8% con la especie *Pleurococcus sp*, para *Chlorella vulgaris* la eficiencia se registró en un 81,0% y finalmente se obtuvo un 64,0% de eficiencia empleando *Scenedesmus sp*.

Mientras que, Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri (2019) emplearon un tiempo de 2 horas para la remoción de cadmio, cromo y plomo usando dos especies de microalgas *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris* mediante la adsorción y aplicando las microalgas en nanopartículas frente a aguas residuales de industrias químicas, por ello, la eficiencia en cuanto a la especie *Spirulina platensis* fue 92,8% para Cd, 80,8% en cuanto a Cr y para Pb fue 94,1%; para *Chlorella vulgaris* la eficiencia de remoción fue Cd, 87,5%; Cr, 80,8 y 90,1% para plomo. Así también, Liu, Panyang, et.al. (2021) empleó la microalga *Microcystis sp* y al igual que los autores anteriores hicieron un tratamiento a las aguas residuales de industrias químicas usando la especie en forma de biocarbón obteniendo un porcentaje de eficiencia de 89,5% de remoción de cadmio en un tiempo de 12 horas.

Luego, Li Yinta, et.al. (2018) usó la microalga *Chlorella vulgaris* para remover plomo presente en industrias textiles aplicando la microalga liofilizada en un tiempo de 6 horas teniendo como eficiencia 63,6% de Pb empleando la biosorción como método de remoción. De igual modo, Danjuma, I, et.al. (2021) en el tratamiento de aguas provenientes de textilerías empleo tres especies de microalgas, *Oscillatoria limosa*, *Chlorella vulgaris* y *Nostoc commune*, estas se aplicaron in vitro empleando la técnica de absorción en un tiempo de 360 horas, como resultado la eficiencia de remoción para plomo fue 90,0%, 70,0% y 85,0% respectivamente.

Para Almomani, Tarifas y Bhosale, Rahul (2021) el porcentaje de eficiencia para cobre y níquel se evaluó mediante dos especies de microalgas *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris* las cuales se aplicaron en aguas residuales de galvanoplastia empleando el método de adsorción durante 2 horas, dichas algas se usaron como nanopartículas y los resultados para el alga *Spirulina platensis* en cuando al Cu fue 62,0% y 95,0 para níquel; en cuánto a *Chlorella vulgaris* se

obtuvo 80,0% de eficiencia para cobre y 87,0% para níquel. En el caso de Chandrashekharaiyah P.S et.al. (2020) utilizó dos especies *Scenedesmus acutus* y *Chlorella pyrenoidosa* usando las microalgas de cultivos in vitro mediante la biosorción en un tiempo de 192 horas obteniendo una eficiencia de 70,1% y 65,5% respectivamente para la remoción de cadmio. Finalmente, Wang, He, et.al. (2019) usó la microalga *Microcystis sp* para la remoción de níquel en un tiempo de 1 hora aplicando el alga en biocarbón y como resultado obtuvieron una eficiencia de 98,9% de remoción de Ni.

4.2. Tipos de aplicación de algas para la remoción de metales pesados de aguas residuales industriales

A partir de la información obtenida de los artículos recuperados a través de los años de estudio de la investigación, se identificó los diferentes tipos de aplicación en la cual fue posible realizar la remoción de los metales pesados presentes en las aguas residuales industriales.

Se pudo identificar que algunos autores cultivaron las algas y monitorearon su crecimiento, para lograr el aumento significativo se empleó el uso de medios de cultivo como: Medio BG-11, Bold Basal, BBM y medio de Fogs. También se aplicó en forma de biocarbón y otra forma utilizada fue en nanopartículas.

Tabla N° 06: Tipos de aplicación de algas para la remoción de metales pesados

Nº	Autor (es)	Especie(s)	Método empleado	Tipo de aplicación	Metales pesados							Remoción
					Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	(%)
1	C.E.R. Barquilha, et.al.	Sargassum sp.	Biosorción	Perlas			x					96,0
									x			72,0
2	Jalil Jaafari y Kamyar Yaghmaeian	Chlorella coloniales	Biosorción	In vitro		x						98,0
					x							97,0
3	Pradhan, Debabrata, et.al.	Scenedesmus sp	Biosorción	Nanopartículas		x						93,1
4	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri	Spirulina platensis	Adsorción	Nanopartículas	x							92,8
										x		94,1
						x						80,8
		Chlorella vulgaris	Adsorción	Nanopartículas	x							87,5
										x		90,1

	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri					x							80,8	
5	Li Yinta, et.al.	Chlorella vulgaris	Biosorción	Liofilización						x			63,6	
6	Husien,Sh, et.al	Sargassum dentifolium	Adsorción	Nanopartículas		x							99,7	
7	Nemchi, Fadela, et.al.	Ulva Lactuca	Adsorción	Biocarbón					x				89,0	
		Cystoseira stricta							x				63,8	
8	Bi-Son, Eun, et.al.	Sargassum fusiforme	Adsorción	Biocarbón	x								23,2	
							x							55,9
												x		
9	Khajavian,M; Hallajnsani, A y Ghelichi,P.	Cystoseira stricta	Biosorción	In vitro					x				70,0	
10	Esmaeili A. y Aghababi Beni A.	Sargassum glaucescens	Biosorción	Nanopartículas					x				93,0	
11	Esmaeili A. Saremnia, B. y Kalantari, M.	Sargassum glaucescens	Adsorción	Nanopartículas				x					95,1	
		Gracilaria corticata						x					90,0	
12	Abioye, Olabisi, et.al.	Cladophora	Adsorción	In vitro	x								88,8	
										x			94,9	
13	Vela, Nicolas, Guamán, María y Gonzalez, Nory	Pleurococcus sp	Biosorción	In vitro				x					86,8	
		Chlorella vulgaris						x					81,0	
		Scenedesmus sp						x					64,0	
14	Almomani, Tarifas y Bhosale, Rahul	Spirulina platensis	Adsorción	Nanopartículas					x				95,0	
						x						62,0		
		Chlorella vulgaris						x					87,0	
						x						80,0		
15	Chandrashekaraiah P.S et.al	Scenedesmus acutus	Biosorción	In vitro	x								70,1	
		Chlorella pyrenoidosa			x								65,5	
16	Min Poo, et.al	Saccharina japónica	Adsorción	Biocarbón			x						70,8	
					x								69,3	
											x		63,5	
	Min Poo, et.al	Sargassum fusiforme					x						97,0	
					x								88,0	
											x		90,0	

17	Liu, Panyang, et.al.	Microcystis sp	Adsorción	Biocarbón	x							89,5
18	Wang, He, et.al.	Microcystis sp	Adsorción	Biocarbón					x			98,9
19	Cardoso,Saulo, et.al	Sargassum filipendula	Biosorción	Nanopartículas	x							78,0
						x						72,8
							x					69,1
										x		42,5
											x	43,5
20	Pozdniakova, Tatiana, et.al.	Laminaria hiperbórea	Absorción	Nanopartículas							x	95,0
		Fucus spiralis									x	55,0
	Pozdniakova, Tatiana, et.al.	Pelvetia caniculata	Absorción	Nanopartículas							x	75,0
		Ascophyllum nodosum									x	70,0
21	Demey, H, Vincent, T y Guibal, E.	Fucus vesiculosus	Biosorción	Perlas			x					99,4
										x		97,3
									x			64,9
											x	49,2
					x							41,9
22	Murat, T; Isil Arslan Topal, E y Erdal Öbek	Cladophora fracta	Absorción	Nanopartículas							x	45,0
23	Danjuma, I, et.al.	Oscillatoria limosa	Absorción	In vitro						x		90,0
		Chlorella vulgaris								x		70,0
		Nostoc commune								x		85,0

Fuente: *Elaboración propia*

Los tipos de aplicación de algas para el proceso de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales se describieron en cinco tipos, los cuales fueron: in vitro, en forma de perlas, nanopartículas, liofilización y en biocarbón. Los datos obtenidos representan la eficiencia del tipo de aplicación para cada tratamiento.

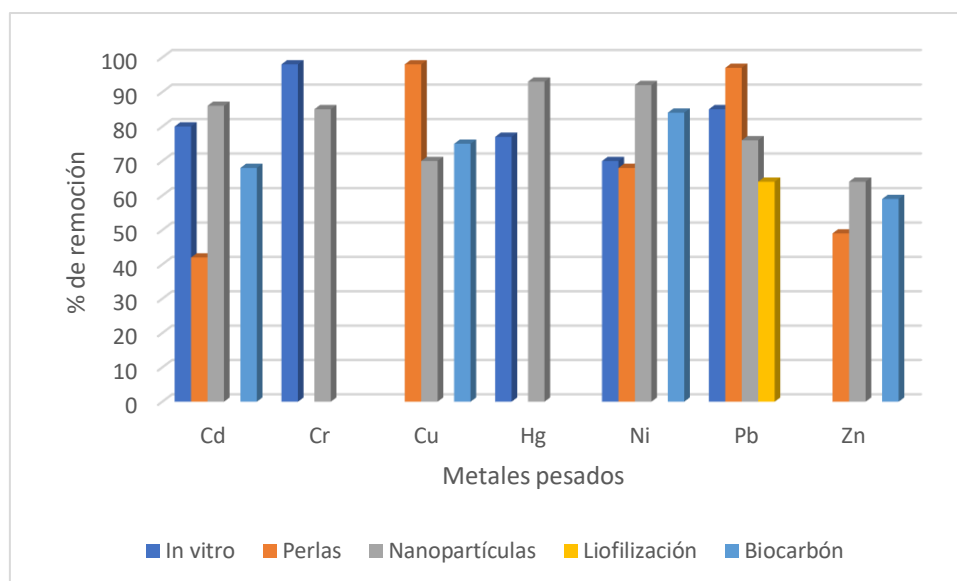


Figura 5: Tipos de aplicación de algas para la remoción de metales pesados

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, se pudo demostrar la efectividad del tipo de aplicación de las algas, en cuanto al metal se obtuvo que para la remoción de cadmio (Cd) la aplicación de “nanopartículas” fue mejor en comparación a los otros tipos en estudio, siendo en el estudio de Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri, (2019) donde el porcentaje de eficiencia fue 92,8% de remoción de cadmio usando la microalga *Spirulina platensis*. En cuanto a la eficiencia de remoción de cromo (Cr), se pudo evaluar que la aplicación “in vitro” obtuvo mayores resultados empleando la microalga *Chlorella coloniales* con una eficiencia de 98,0%; no obstante, cabe mencionar que, la macroalga *Sargassum dentifolium* también tiene una elevada capacidad de remoción del metal en función. Husien,Sh, et.al, (2019).

Para el caso del cobre (Cu), según los estudios realizados se pudo evaluar la efectividad del empleo de “perlas” en el proceso de remoción de dicho metal, Demey, H, Vincent, T y Guibal, E., (2017) demostró en su investigación que aplicando la macroalga *Fucus vesiculosus* se obtenía una eficiencia de 99,4% de remoción en un período de 12 horas; cabe mencionar que, Barquilha, C.E.R., et.al. (2017) también demostró que aplicando *Sargassum sp* en “perlas” también tiene una capacidad de 98,0% de remoción de cobre.

En el caso del mercurio (Hg), la mejor aplicación sería en “nanopartículas”, como lo demuestra Esmaeili A. Saremnia, B. y Kalantari, M., (2015) donde uso la macroalga *Sargassum glaucescens* en un tiempo de 1 hora con 30 minutos obteniendo una eficiencia de remoción de 95,1% para Hg. Por otro lado, la remoción de níquel obtuvo mejores resultados aplicando el alga en forma de “nanopartículas” según Almomani, Tarifas y Bhosale, Rahul, (2021) que empleó este tipo de aplicación obteniendo una efectividad de 95% utilizando la microalga *Spirulina platensis* en un tiempo de 2 horas. No obstante, Wang, He, et.al. (2019) utilizaron la microalga *Microcystis sp* en forma de biocarbón, en donde los resultados de efectividad fueron de 98,9%.

Luego, en la remoción de plomo (Pb), se muestra que la aplicación en forma de “perlas” tiene mayor efectividad, tal como lo presenta Demey, H, Vincent, T y Guibal, E. (2017) que empleo este tipo de aplicación obteniendo una efectividad de 97,3% para la remoción de plomo en un tiempo de 12 horas. Asimismo, para la remoción de zinc (Zn) la aplicación de algas en “nanopartículas” presenta mayor efectividad, como lo demostró Pozdniakova, Tatiana, et.al. (2016) usando este tipo de aplicación con la macroalga *Laminaria hiperbórea*, donde obtuvieron una eficiencia de 95,0% en cuanto a la remoción de zinc en un período de tiempo de 30 minutos.

Finalmente, Li Yinta, et.al. (2018) aplico la microalga *Chlorella vulgaris* liofilizada, obteniendo una remoción de 63,6% para plomo, dicho proceso duro 6 horas.

4.3. Tipo de agua residual industrial con mayor efectividad de remoción de metales pesados

En las diferentes investigaciones recopiladas, se encontraron diferentes tipos de agua residual industrial. Dentro de las técnicas empleadas se identificó al proceso de biosorción, adsorción y absorción, todas ellas fueron identificadas de cada artículo recuperado de las diferentes bases de datos indexadas.

Tabla N° 08: Tipo de agua residual industrial para la remoción de metales pesados

N°	Autor (es)	Especie(s)	Tipo de agua residual	Metales pesados						Remoción	
				Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	(%)
1	C.E.R. Barquilha, et.al.	Sargassum sp.	Galvanoplastia			x					96,0
								x			72,0
2	Jalil Jaafari y Kamyar Yaghmaeian	Chlorella coloniales	Metalurgia		x						98,0
				x							97,0
3	Pradhan, Debabrata, et.al.	Scenedesmus sp	Minería		x						93,1
4	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri	Spirulina platensis	Química	x							92,8
									x		94,1
					x						80,8
	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri	Chlorella vulgaris	Química	x							87,5
									x		90,1
					x						80,8
5	Li Yinta, et.al.	Chlorella vulgaris	Textil						x		63,6
6	Husien Sh, et.al	Sargassum dentifolium	Curtiembre		x						99,7
7	Nemchi, Fadela, et.al.	Ulva Lactuca	Textil					x			89,0
		Cystoseira stricta						x			63,8
8	Bi-Son, Eun, et.al.	Sargassum fusiforme	Química	x							23,2
						x					55,9
										x	22,2
9	Khajavian, M; Hallajnsani, A y Ghelichi,P.	Cystoseira stricta	Química					x			70,0
10	Esmaeili A. y Aghababi Beni A.	Sargassum glaucescens	Química					x			93,0
11	Esmaeili A. Saremnia, B. y Kalantari, M.	Sargassum glaucescens	Química				x				95,1
		Gracilaria corticata					x				90,0
12	Abioye, Olabisi, et.al.	Cladophora	Minería	x							88,8
										x	
13		Pleurococcus sp	Minería				x				86,8
		Chlorella vulgaris					x				81,0

	Vela, Nicolas, Guamán, María y Gonzalez, Nory	Scenedesmus sp					x					64,0
14	Almomani, Tarifas y Bhosale, Rahul	Spirulina platensis	Galvanoplastia					x				95,0
						x					62,0	
		Chlorella vulgaris						x				87,0
						x						80,0
15	Chandrashekharaiyah P.S et.al	Scenedesmus acutus	Galvanoplastia	x								70,1
		Chlorella pyrenoidosa		x								65,5
16	Min Poo, et.al	Saccharina japonica	Química			x						70,8
				x								69,3
										x		63,5
	Min Poo, et.al	Sargassum fusiforme	Química			x						97,0
				x								88,0
										x		90,0
17	Liu, Panyang, et.al.	Microcystis sp	Química	x								89,5
18	Wang, He, et.al.	Microcystis sp	Galvanoplastia					x				98,9
19	Cardoso,Saulo, et.al	Sargassum filipendula	Galvanoplastia	x								78,0
					x							72,8
						x						69,1
									x			42,5
										x		43,5
20	Pozdniakova, Tatiana, et.al.	Laminaria hiperbórea	Galvanoplastia							x		95,0
		Fucus spiralis							x		55,0	
		Pelvetia caniculata							x		75,0	
		Ascophyllum nodosum							x		70,0	
21	Demey, H, Vincent, T y Guibal, E.	Fucus vesiculosus	Minería			x						99,4
									x			97,3
								x				64,9
										x		49,2
				x								41,9
22	Murat, T; Isil Arslan Topal, E y Erdal Öbek	Cladophora fracta	Metalurgia							x		44,8
23	Danjuma, I, et.al.	Oscillatoria limosa	Textil						x			90,0
		Chlorella vulgaris							x			70,0
		Nostoc commune							x			85,0

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla representa la relación que existe entre el tipo de aguas residuales industriales y la eficiencia de remoción de los metales pesados estudiados. Dentro de los tipos que se estudiaron en la investigación se tiene: industrias de galvanoplastia, metalurgia, minería, industria química, textil y curtiembre.

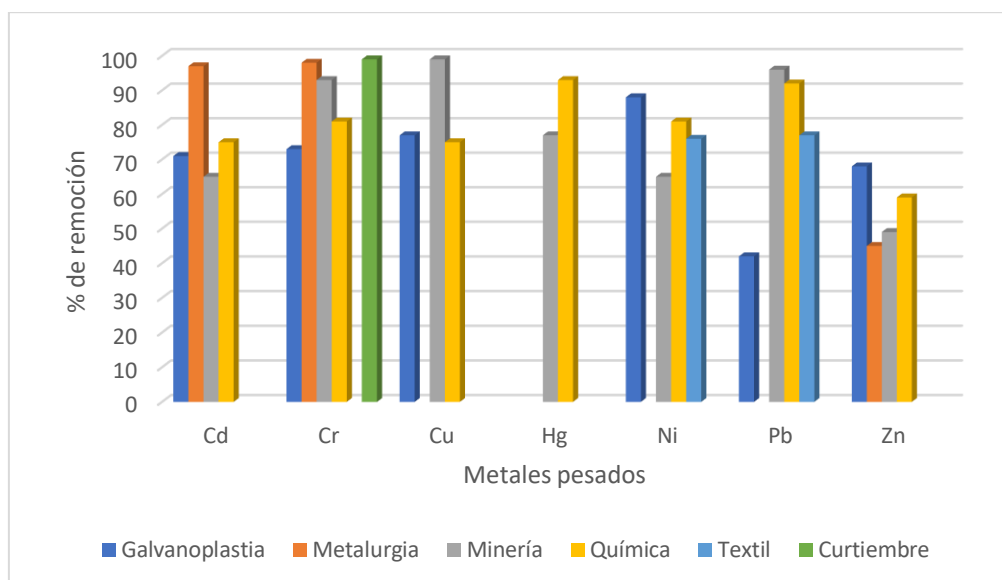


Figura 6: Tipos de agua residual industrial con mayor efectividad de remoción

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6, se muestra que, en las aguas residuales provenientes de galvanoplastias, el metal que mayor efectividad de remoción presenta es el níquel (Ni), tal como lo muestra Wang, He, et.al. (2019) en donde se tuvo una efectividad de 98,9% en cuanto a la remoción de metal empleando la microalga *Microcystis sp.*

Para las aguas residuales de origen metalúrgico, los metales que mayor efectividad de remoción presentaron es el cadmio junto con el cromo, por ello, Jalil Jaafari y Kamyar Yaghmaeian (2018) obtuvo porcentajes de efectividad de 97,0% y 98,0% respectivamente usando la microalga *Chlorella coloniales*.

Respecto a la efectividad de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales de procedencia minera, se pudo evaluar que el cobre (Cu) generó mayor porcentaje de remoción, así como se pudo comprobar Demey, H, Vincent, T y Guibal, E. (2017) en la cual obtuvieron una efectividad de 99,4% para el tratamiento de dicho metal con el uso de la macroalga *Fucus vesiculosus*.

Por otro lado, en el análisis de las aguas residuales de industrias químicas, se demostró que el mercurio (Hg) se logró remover con mayor efectividad, Esmaeili A. Saremnia, B. y Kalantari, M. (2015) evidenció en su investigación que dicho metal se puede remover en un 95,1% con el uso de la macroalga *Sargassum glaucescens* en un período de tiempo de 1 hora con 30 minutos.

También, se pudo analizar que el metal que mayor efectividad de remoción tuvo en aguas residuales de origen textil fue el níquel con un porcentaje de remoción de 89,0% en un período de tiempo de 1 hora usando la macroalga *Ulva Lactuca*, tal y como lo muestra Nemchi, Fadela, et.al. (2017); cabe mencionar que, Danjuma, I, et.al. (2021) tuvo una remoción de 90,0% empleando la microalga *Oscillatoria limosa*; en un período de tiempo de 360 horas.

Finalmente, en las aguas residuales provenientes de curtiembres el metal en estudio fue el cromo obteniendo la macroalga *Sargassum dentifolium* una efectividad de 99,7% para la remoción de dicho metal en un tiempo de 1 hora.

V. CONCLUSIONES

En base a la información obtenida de los artículos científicos recopilados de las bases de datos indexadas y luego de su sistematización, se concluyó en:

1. Las especies con mayor eficiencia de remoción fueron las macroalgas *Sargassum sp* (*Sargassum fusiforme*, *dentifolium*, *glaucescens*), *Laminaria hiperbórea*, *Fucus vesiculosus*, y *Cladophora sp*. De las microalgas fueron *Scenedesmus sp*, *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* y *Microcystis sp* con una eficiencia mayor a 90,0% de remoción de metales pesados.
2. El tipo de aplicación que es más eficiente para la remoción de metales pesados es el uso de “nanopartículas”, debido a que representa una eficiencia con un porcentaje mayor de 80,0%.
3. Las algas que presentan mayor capacidad de remoción de metales pesados se dieron en aguas residuales provenientes de las industrias químicas y de minerías favoreciendo así los porcentajes de remoción de cada especie de algas.
4. La eficiencia de las algas se mostró en porcentajes de 80,0% a 90,0% (mayor eficiencia) empleando macroalgas como *Sargassum sp*, *Laminaria hiperbórea*, *Fucus vesiculosus*, *Gracilaria Corticata*, *Ulva Lactuca* y *Cladophora sp*; y microalgas como *Scenedesmus sp*, *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* y *Microcystis sp*; 50,0% a 70,0% (eficiencia media) usando *Cystoseira stricta*, *Scenedesmus acutus*, *Saccharina japónica* y *Ascophyllum nodosum* y finalmente los porcentajes menores a 50,0% se consideraron como deficientes mediante el uso de *Cladophora fracta*, *Fucus spiralis*, y *Sargassum filipéndula*.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar una investigación para identificar cuáles son las condiciones óptimas de las algas para la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales.
2. Utilizar un programa estadístico para determinar el comportamiento de las algas en la remoción de metales pesados.
3. Realizar un estudio de investigación para determinar si la combinación de diversas especies de algas puede ser más eficiente para la remoción de metales pesados.
4. Se sugiere aplicar el uso de algas a tratamientos de aguas residuales domésticas y municipales.
5. Emplear el uso de artículos con acceso cerrado para enriquecer aún más la investigación.

REFERENCIAS

1. ABIOYE, O. [et al]. "Phycoremediation of water contaminated with arsenic (As); cadmium (Cd) and lead (Pb) from a mining site in Minna, Nigeria". [En línea], 2020. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2021].

ISSN: 2449-8955

Disponible en:

<https://zenodo.org/record/3735302#.YMpOYqgzblU>

2. ALMOMANI, Fares y BHOSALE, Rahul. "Bio-sorption of toxic metals from industrial wastewater by algae strains *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*: Application of isotherm, kinetic models and process optimization. [En línea], 2020. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720361830>

3. APAZA, Brando, HUAHUALA, Jenny. "Bioadsorción del metal cadmio (ii) de aguas residuales industriales, utilizando algas marinas marrones" [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2020].

Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11146>

4. AZAM Heidarpour; [et al]. "Bio-removal of Zinc from contaminated water by using green algae isolates" [En línea], 2019. [Fecha de consulta: 01 de octubre de 2020].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186419302895>

5. BALLEEN, Miguel, [et al]. "Using *Scenedesmus* sp. For the Phycoremediation of Tannery Wastewater" [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 8 de junio 2021].

Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672016000200011

6. BARQUILHA, C.E.R, [et al]. "Biosorption of nickel (II) and copper (II) ions in batch and fixed-bed columns by free and immobilized marine algae *Sargassum sp.*". [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617304250>

7. BASTIAN, R. "Algae Biotechnology for Wastewater Treatment: Regulatory Issues," [En línea] presented at Algae Biomass Summit, 2016. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2020].

Disponible en:

<https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/2---membership/member-associations/ma-resource-center/news-you-can-use/2017-jan---algae-recovery.pdf>

8. BI SON, Eun, [et al]. "Heavy metal removal from aqueous solutions using engineered magnetic biochars derived from waste marine macro-algal biomass" [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 13 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717325202>

9. CARDOSO, Saulo [et al]. "Biosorption of toxic metals using the alginate extraction residue from the Brown algae *Sargassum filipéndula* as a natural ion-exchanger". [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 13 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617315573>

10. CAYETANO, Paolo. "Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: plomo, cadmio, mercurio y arsénico" [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 13 de diciembre de 2020].

Disponible en:

<https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/cati/3%20BOLET%20C3%8DN%20T%20C3%89CNOLOGICAS%20N-3%202019.pdf>

11. CHANDRASHEKHARIAH, P.S, [et al]. “Cadmium biosorption and biomass production by two freshwater microalgae *Scenedesmus acutus* and *Chlorella pyrenoidosa*: An integrated approach”. [En línea]. 2020. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520329532>

12. CÉPEDA, Manuela. “Microalgas: una alternativa verde para el tratamiento de aguas residuales” [En línea]. 2018. [Fecha de consulta: 06 de diciembre de 2020].

Disponible en:

<https://arbolde tinta.unibague.edu.co/k2/microalgas-una-alternativa-verde-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales>

13. CERÓN, Víctor, MADERA, Carlos y PEÑA, Miguel. “Uso de lagunas algales de alta tasa para tratamiento de aguas residuales” [En línea]. 2015. [Fecha de consulta: 28 de junio de 2021].

Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612015000100007

14. CHULLE, Lucía y VILLALOBOS, Pablo. “Remoción de metales pesados (mercurio y plomo) de soluciones acuosas sintéticas en diferentes concentraciones utilizando la microalga dulceacuícola *Scenedesmus acutus*” [En línea]. Lambayeque, 2016. [Fecha de consulta: 28 de noviembre de 2020].

Disponible en:

<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/779/BC-TES-5651.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

15. COVARRUBIAS, Abraham y PEÑA, Juan. "Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación". [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2021].

Disponible en:

<https://www.revistascca.unam.mx/rca/index.php/rca/article/view/RICA.2017.33.esp01.01/46640>

16. DANJUMA, Atoku [et al]. "Evaluating the Efficiency of *Nostoc commune*, *Oscillatoria limosa* and *Chlorella vulgaris* in a Phycoremediation of Heavy Metals Contaminated Industrial Wsterwater". [En línea]. 2021. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227621001216?via%3Dihub>

17. DEMEY, H. VINCENT, T y GUIBAL, E. "A novel algal-based sorbent for heavy metal removal" [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894717315826>

18. ESMAEILI, A. y AGHABABAI, B. "Biosorption of nickel and cobalt from plant effluent by *Sargassum glaucescens* nanoparticles at new membrane reactor" [En línea]. 2015. [Fecha de consulta: 01 de junio de 2021].

ISSN: 17351472

Disponible en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84928150420&origin=reflist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85052305220&src=s&imp=t&sid=0a4e1ae63a0185746e0225ef4bfe7298&sot=cite&sdt=a&sl=0>

19. ESMAEILI, Akbar, SAREMNIA, Betsabe y KALANTARI, Mona. "Removal of mercury (II) from aqueous solutions by biosorption on the biomass of *Sargassum glaucescens* and *Gracilaria corticata*" [En línea]. 2015. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535212000202>

20. GÓMEZ, Johanna. "Uso de *Spirulina platensis* en la bioadsorción de metales pesados presentes en aguas Residuales Industriales" [En línea]. 2020. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020].

Disponible en:

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/13618>

21. GONZÁLEZ, Jorge. "Flora ficológica de México: Concepciones y estrategias para la integración de una flora ficológica nacional" [En línea] México. 1992. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2020].

ISSN: 0187-6376

Disponible en:

<http://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/11252>

22. HUSEIN, Sh. [et al]. "Adsorption studies of hexavalent chromium Cr (VI) on micro-scale biomass of *Sargassum dentifolium*, Seaweed" [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343719305676>

23. JAAFARI, Jalil y YAGHMAEIAN, Kamyar. "Optimization of heavy metal biosorption onto freshwater algae (*Chlorella coloniales*) using response surface methodology (RSM)" [En línea]. 2018. [Fecha de consulta: 12 de mayo del 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518320800>

24. JORGENSEN S. "Ecotoxicology and Chemistry Applications in Environmental Management" [En línea] CRC Press. Copenhagen University, Denmark. 2016, 326 pp. [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2020].

Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=PcPBDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ecotoxicology+and+Chemistry+Applications+in+Environmental+Management&ots=IjtW8uUr1k&sig=qBZCGvhjrh9a5h55b498In4Wdzo#v=onepage&q=Ecotoxicology%20and%20Chemistry%20Applications%20in%20Environmental%20Management&f=false>

25. KHAJAVIAN, M. HALLAJSANI, B. y GHELICHI, P. "Optimizing binary biosorption of cobalt and nickel ion son 39rown algae using a central composite design" [En línea]. 2020 [Fecha de consulta: 14 de junio de 2021].

ISSN: 17351472

Disponible en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85084805458&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85052305220&src=s&imp=t&sid=0a4e1ae63a0185746e0225ef4bfe7298&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=3&citeCnt=0&searchTerm=>

26. MIN POO, Kyung [et.al]. "Biochars derived from wasted marine macroalgae (*Saccharina japonica* and *Sargassum fusiforme*) and their potential for heavy metal removal in aqueous solution" [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717310526>

27. LARIOS, J; GONZÁLES, C. y MORALES, Y. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú". [En línea]. 2015. Universidad San Ignacio de Loyola. Vol. 2 N° 02. Segundo semestre. P. 09 – 25. [Fecha de consulta: 05 de octubre de 2020].

Disponible en:

<https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>

28. LONDOÑO, Luis, LONDOÑO, Paula y MUÑOZ, Fabian. "Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal" [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021].

DOI:10.18684/BSAA (14)145-153

Disponible en:

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

29. LENNTECH. Propiedades químicas del cobre, Efectos del cobre sobre la salud, Efectos ambientales del cobre [En línea]. 2003. [Fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2020].

Disponible en:

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>

30. MAGNO, Jennifer. "Eficiencia en la remoción de Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera mediante la aplicación de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis Pyrifera*) químicamente modificado". [En línea] 2020. Universidad Peruana Unión. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2020].

Disponible en:

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3410>

31. MOHAMMAD, Hossein; OMOLBANIN, Rashki y ELHAM, Shahri. "Application of modified *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* poder on the adsorption of heavy metals from aqueous solutions" [En línea] 2019. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343719302921>

32. NEMCHI, Fadela [et al]. "Enhancement of Ni²⁺ removal capacity of activated carbons obtained from Mediterranean *Ulva Lactuca* and *Systoeira stricta* algal species" [En línea] 2017. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343717301197>

33. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Intoxicación por plomo y salud. [En línea] 2019. [Fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2020].

Disponible en:

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

34. ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. Fiscalización en Aguas Residuales [En línea] 2014. [Fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2020].

Disponible en:

https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

35. PANYANG, Liu [et.al]. "Capacity and potential mechanisms of Cd (II) adsorption from aqueous solution by blue algae-derived biochars. [En línea]. 2021 [Fecha de consulta: 18 de junio del 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721005155>

36. PLAZA, Josefina. "Remoción de metales pesados empleando algas marinas". [En línea] 2012. [Fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2020].

Disponible en:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento_completo.pdf?sequence=17

37. PÉREZ, Yahir. “Efecto biorremediador de las clorofitas filamentosas en el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados provenientes del río Chillón – Callao” [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2020].

Disponible en:

http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/432/P%c3%a9rez_Yahir_tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

38. PÉREZ, Karen [et al]. “Uso de *Scenedesmus* para la remoción de metales pesados y nutrientes de aguas residuales de la industria textil”. [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 29 de noviembre de 2020].

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/313284355_Uso_de_Scenedesmus_para_la_remocion_de_metales_pesados_y_nutrientes_de_aguas_residuales_para_la_industria_textil

39. POZDNIAKOVA, Tatiana [et al]. “Brown macro-algae as natural cation exchangers for the treatment of zinc containing wastewaters generated in the galvanizing process”. En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2020].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616001487>

40. PURIS, Karen. “Aplicación de la microalga *Chlorella vulgaris* como alternativa para la bioadsorción de metales pesados Pb, Hg, Cd en aguas” [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 29 de Setiembre de 2020].

Disponible en:

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2456/Karen_Trabajo_Bachiller_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

41. PRADHAN, Debabrata; [et al]. “Biosorption for removal of hexavalent chromium using microalgae *Scenedesmus sp.*” [En línea]. 2018. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618333213>

42. QUIROZ, Anggie. “Biosorción del alga marina parda *Macrocystis Pyrifera* en la reducción de cobre en soluciones acuosas a nivel de laboratorio, SJL- 2017” [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2021].

Disponible en:

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/10874>

43. REYES, Yulieth [et al]. “Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria” [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021].

ISSN: 2422-4324

Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6096110.pdf>

44. TOPAL, Murat, ARSLAN, Isil y ÖBEK, Erdal. “Remediation of pollutants with economical importance from mining waters: Usage of *Cladophora fracta*”. [En línea]. 2020. [Fecha de consulta: 18 de junio de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186420303205>

45. VALERDI, María. “El tiempo libre en condiciones de flexibilidad del trabajo” [En línea]. 2009. [Fecha de consulta: 20 de Setiembre de 2020].

Disponible en:

<https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2009/mavg/index.htm>

46. VELA, Nicolas, HUAMÁN, María y GONZÁLES, Nory. “Efficient bioremediation of metallurgical effluents through the use of microalgae isolated from the amazonic and highlands of Ecuador” [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 9 de junio].

Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000400917

47. WANG, He [et al]. "Adsorption and Fenton-like removal of chelated nickel from Zn-Ni alloy electroplating wastewater using activated biochar composite derived from Taihu blue algae". [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 18 de junio del 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719317759>

48. YINTA, Li [et al]. "Enhanced Pb (II) removal by algal-based biosorbent cultivated in high-phosphorus cultures" [En línea]. 2019. [Fecha de consulta: 30 de mayo del 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894718325555>

ANEXOS

Anexo 01: Tabla de categorización

Ámbito temático	Problema de investigación	Pregunta de Investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Categorías	Subcategorías
Uso de algas para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales industriales	¿Qué niveles de eficiencia presenta la utilización de algas en el tratamiento de metales pesados presentes en aguas residuales industriales que han sido reportados en las bases de datos indexadas de acceso libre?	¿Qué algas son más eficientes para tratar aguas residuales industriales contaminadas por metales pesados?	Evaluar la eficiencia del uso de algas para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales industriales	Evaluar las principales especies de algas reportadas con elevada capacidad de remoción de metales pesados en aguas residuales industriales	Macroalgas	Algas rojas
						Algas pardas
						Algas verdes
						Algas azul verdosas
		Microalgas		Procariotas		
				Eucariotas		
		In Vitro		Microalgas		
				Macroalgas		
		Deshidratación		Perlas		
				Nanopartículas		
				Biocarbón		
				Liofilizadas		
		Aguas residuales industriales		Curtiembre		
				Metalurgia		
				Galvanoplastia		
				Química		
				Textilería		
				Minería		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02: Recopilación de datos

N°	Autor (es)	Tiempo (horas)	Metales pesados							Remoción (%)	Tipo de alga	Género de algas	Especie (s)	Tipo de agua residual	Método empleado	Tipo de aplicación	Tipo de investigación
			Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn								
1	C.E.R. Barquilha, et.al. (2017)	4			x					96,0	Macroalga	Pardas	<i>Sargassum sp.</i>	Galvanoplastia	Biosorción	Perlas	Experimental
		6					x			72,0							
2	Jalil Jaafari y Kamyar Yaghmaeian (2018)	108		x						98,0	Microalga	Eucariotas	<i>Chlorella coloniales</i>	Metalurgia	Biosorción	In vitro	Experimental
		11	x							97,0							
3	Pradhan, Debabrata, et.al. (2018)	2		x						93,1	Microalga	Eucariotas	<i>Scenedesmus sp</i>	Minería	Biosorción	Nanopartículas	Experimental
4	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri (2019)	2	x							92,8	Microalga	Eucariotas	<i>Spirulina platensis</i>	Química	Adsorción	Nanopartículas	Experimental
								x		94,1							
				x						80,8							
	Mohammad, Hossein; Omolbanin, Rashki y Elham Shahri (2019)	2	x							87,5	Microalga	Eucariotas	<i>Chlorella vulgaris</i>	Química	Adsorción	Nanopartículas	Experimental
								x		90,1							
				x						80,8							
5	Li Yinta, et.al. (2018)	6						x		63,6	Microalga	Eucariotas	<i>Chlorella vulgaris</i>	Textil	Biosorción	Liofilización	Experimental
6	Husien, Sh, et.al (2019)	1		x						99,7	Macroalga	Pardas	<i>Sargassum dentifolium</i>	Curtiembre	Adsorción	Nanopartículas	Experimental
7	Nemchi, Fadela, et.al. (2017)	1					x			89,0	Macroalga	Verdes	<i>Ulva Lactuca</i>	Textil	Adsorción	Biocarbón	Experimental
		2					x			63,8		Pardas	<i>Cystoseira stricta</i>				

8	Bi-Son, Eun, et.al. (2017)	24	x						23,2	Macroalga	Pardas	<i>Sargassum fusiforme</i>	Química	Adsorción	Biocarbón	Experimental
					x				55,9							
								x	22,2							
9	Khajavian,M; Hallajani, A y Ghelichi,P. (2020)	1 y 20 minutos					x		70,0	Macroalga	Pardas	<i>Cystoseira stricta</i>	Química	Biosorción	In vitro	Experimental
10	Esmaeili A. y Aghababi Beni A. (2015)	1 y 20 minutos					x		93,0	Macroalga	Pardas	<i>Sargassum glaucescens</i>	Química	Biosorción	Nanopartículas	Experimental
11	Esmaeili A. Saremnia, B. y Kalantari, M. (2015)	1 y 30 minutos				x			95,1	Macroalga	Pardas	<i>Sargassum glaucescens</i>	Química	Adsorción	Nanopartículas	Experimental
						x			90,0		Rojas	<i>Gracilaria corticata</i>				
12	Abioye, Olabisi, et.al. (2020)	90 días	x						88,8	Macroalga	Verdes	<i>Cladophora</i>	Minería	Adsorción	In vitro	Experimental
								x	94,9							
13	Vela, Nicolas, Guamán, María y Gonzalez, Nory (2019)	288				x			86,8	Microalga	Eucariotas	<i>Pleurococcus sp</i>	Minería	Biosorción	In vitro	Experimental
						x			81,0		Eucariotas	<i>Chlorella vulgaris</i>				
						x			64,0		Eucariotas	<i>Scenedesmus sp</i>				
14	Almomani, Tarifas y Bhosale, Rahul (2021)	2					x		95,0	Microalga	Eucariotas	<i>Spirulina platensis</i>	Galvanoplastia	Adsorción	Nanopartículas	Experimental
					x				62,0							
							x		87,0		Eucariotas	<i>Chlorella vulgaris</i>				
					x				80,0							
15	Chandrashekharaiyah P.S et.al. (2020)	192	x						70,1	Microalga	Eucariotas	<i>Scenedesmus acutus</i>	Galvanoplastia	Biosorción	In vitro	Experimental
			x						65,5		Eucariotas	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>				
16	Min Poo, et.al.	24			x				70,8	Macroalga	Pardas		Química	Adsorción		Experimental

	(2017)		x						69,3	Macroalga	Pardas	<i>Saccharina japonica</i>			Biocarbón		
								x	63,5								
	Min Poo, et.al.				x							97,0					
			x									88,0					
									x			90,0					
(2017)																	
17	Liu, Panyang, et.al. (2021)	12	x						89,5	Microalga	Eucariotas	<i>Microcystis sp</i>	Química	Adsorción	Biocarbón	Experimental	
18	Wang, He, et.al. (2019)	1					x		98,9	Microalga	Eucariotas	<i>Microcystis sp</i>	Galvanoplastia	Adsorción	Biocarbón	Experimental	
19	Cardoso,Saulo, et.al (2017)	24	x						78,0	Macroalga	Pardas	<i>Sargassum filipendula</i>	Galvanoplastia	Biosorción	Nanopartículas	Experimental	
				x					72,8								
					x				69,1								
								x	42,5								
									x								43,5
20	Pozdniakova, Tatiana, et.al. (2016)	30						x	95,0	Macroalga	Pardas	<i>Laminaria hiperborea</i>	Galvanoplastia	Absorción	Nanopartículas	Experimental	
								x	55,0		Pardas	<i>Fucus spiralis</i>					
								x	75,0		Pardas	<i>Pelvetia caniculata</i>					
								x	70,0		Pardas	<i>Ascophyllum nodosum</i>					
21	Demey, H, Vincent, T y Guibal, E. (2017)	12			x				99,4	Macroalga	Pardas	<i>Fucus vesiculosus</i>	Minería	Biosorción	Perlas	Experimental	
								x	97,3								
							x		64,9								
								x	49,2								
			x						41,9								
22	Murat, T; Isil Arslan Topal, E y Erdal Öbek (2020)	168							x	45,0	Macroalga	Verdes	<i>Cladophora fracta</i>	Metalurgia	Absorción	Nanopartículas	Experimental

23	Danjuma, I, et.al. (2021)	360						x		90,0	Microalga	Eucariotas	<i>Oscillatoria limosa</i>	Textil	Absorción	In vitro	Experimental
								x		70,0		Eucariotas	<i>Chlorella vulgaris</i>				
								x		85,0		Eucariotas	<i>Nostoc commune</i>				

Fuente: Elaboración propia